

气象条件对人造雪活动的影响

李菁

(中国天气网, 北京100081)

摘要: 随着2022年冬奥会的成功申办, 我国户外滑雪运动发展速度加快。受到自然条件的制约, 人造雪的技术手段被广泛应用于滑雪场的运营。详细阐述了影响人造雪生产所需要的基本气象条件, 在此基础上介绍了基于天然降水资源循环利用的人造雪管理方案, 希望对国内雪场人造雪的优化管理提供帮助。

关键词: 人造雪, 滑雪场, 雪资源管理

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.01.024

The Influence of Meteorological Conditions on Artificial Snow

Li Jing

(Weather China Network, Beijing 100081)

Abstract: The successful bid of the 2022 Winter Olympic Games accelerated strongly development of outdoor skiing in China. Under the restriction of the natural condition, the snowmaking technology is widely used in the ski field operation. This paper describes the basic meteorological conditions for the production of snowmaking, and introduces the snowmaking management scheme based on natural precipitation resource recycling in skiing resort, we hope these may help to develop the domestic snowmaking optimization management.

Keywords: artificial snow, skiing exercise, snowmaking optimization management

0 引言

随着我国成功申办2022年冬季奥运会, 滑雪运动正受到越来越热烈的关注。目前我国雪场数量大约在500家, 按照申冬奥规划, 未来几年我国雪场数量还将大幅增加。然而受制于气候条件, 我国大部分地区并不具备建造天然雪场的条件。

随着人造雪技术的不断发展, 世界很多著名的滑雪胜地已经使用人工造雪技术补充自然雪。相比天然雪, 人造雪具有雪晶中含水量大、耐滑耐化、雪质硬等雪道必备的特点, 同时人造雪的使用保证了雪道品质的稳定性, 同时扩展了滑雪运动的开展时间。虽然人造雪具有诸多优点, 但是抗衡自然条件造雪所付出的代价是高昂的水电消耗成本, 这也一直被视为滑雪场设施普及的障碍。

如何利用自然气象条件的时机窗口, 尽量减少水电能源的消耗, 最大限度地提升积雪转化率, 是人工雪场在建设和运营过程中将持续面临的问题。

1 人造雪的实现方式

本文所阐述的人造雪不涉及通过化学方法合成的

仿真雪, 仅指通过生产冰晶来实现的且和自然雪具有相同物理性质的人造雪, 这种人造雪主要通过造雪机来实现。

在天然条件下, 自然雪来自大气中的水蒸气凝结, 当大气温度低到一定程度, 水蒸气就会凝结成云, 由气态转化为液态或固态。小冰晶飘浮在空中, 靠继续凝结和互相碰撞合并而增大成为雪花。自然条件下从雪晶形成到落地的过程需要较长时间, 而人工造雪需要在短时间内完成制造晶核、促进雪晶成长的全过程。由于雪在本质上就是冰晶, 因此目前主流的造雪机都是以高效生产冰晶为主要功能的, 常见类型有以下2种。

1.1 炮筒式造雪机

最受国内滑雪场青睐并广泛使用的是炮筒式造雪机, 其原理是把来自高压水泵的高压雾化水与来自空气压缩机的高压空气在喷嘴处混合, 利用雾滴自然蒸发和空气出喷嘴后的体积膨胀带走的热量而使雾滴凝结成冰晶。

人造雪形成过程中由于无法模拟自然雪形成的全部条件, 即雪晶从高空下降, 结晶时间长的过程, 常常需要将造雪机安装在塔架上, 使其在空中飘飞充分冷凝, 从而延长落地时间形成结晶更完整的雪花, 因此该类造雪机受风力影响较大。

收稿日期: 2016年8月31日; 修回日期: 2016年8月11日
作者: 李菁(1988—), Email: lij@weather.com.cn

1.2 风扇型造雪机

同样被广泛使用的还有风扇型造雪机，它的工作原理同样是利用冷却雾化水的方式来实现的。它使用简单的喷嘴来雾化水，使之成为细小的水滴，然后用大功率高速风扇将水滴吹出，增加水滴悬浮在空气中的时间，使之获得足够的时间冷却和凝固。其主要优点是不需供应压缩空气，只需要提供水源和电源，由于缺少压缩空气膨胀产生的冷却效果，所以在应用条件上，一般需要比炮筒式造雪机更低的环境温度^[1]。

许多造雪机中也会添加一个凝结核的装置，以确保尽可能多的水可以在0℃时发生凝结并促进水分子形成合适形状的冰晶。如果不存在这个凝结核的装置，空气和水的混合很可能长时间以过冷水的形态存在，降低了人造雪的效率。

2 人造雪需要的气象条件

2.1 人造雪与天然降雪

随着人造雪技术的不断发展，现代滑雪场在一定程度上摆脱了“靠天吃饭”的困惑。自然降雪已经不是滑雪场的必备生存条件，但一个显而易见的道理是更多和持续时间更长的自然降雪意味着更少的人造雪需求和更低的滑雪场运营成本。

了解地区的降雪规律能帮助滑雪场更高效地利用天然降雪，制定合理的人造雪生产计划。因此了解自然降雪的气候分布特征对雪场的选址和人造雪设备运转时间的设定都有重要意义。

刘玉莲等^[2]利用1971—2000年逐日地面降雪资料分析了中国25°N以北范围内降雪量、降雪日数、雪带分布的气候学特征，得到以下结论：根据雪季降雪频次划分中国的雪带，东北大部、内蒙古自治区东部、新疆北部、青藏高原大部、秦岭等地区为常年多雪带；长江以南的滇南、四川盆地、江浙沿海等地区为永久无雪带；其余地区为偶尔降雪带。

从降雪日数来看，东部地区从南到北逐渐增加，长江以南地区最少，华北地区降雪日数为10d左右、内蒙古东部超过30d、东北北部和东部则超过50d；西部地区的新疆北部、青海和西藏降雪日数较多，部分海拔较高地区的年降雪日数超过100d。

年降雪量青海和西藏降雪量最多（>60mm），东北和西北北部较多（>30mm），东南部最少。平均降雪强度江淮一带最大。

以上对自然降雪气候特征的分析结论和我国目前滑雪场的区域分布特征有高度的一致性。处在常年多雪带且雪量较充沛的黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、新疆地区的滑雪场数量几乎占据了全国滑雪场总量的

60%，其中黑龙江一地滑雪场数量就占到全国滑雪场总量的1/4，且知名滑雪场云集，这些滑雪场对人造雪和天然降雪互为补充，而非完全依赖。而对于其他偶尔降雪的地区，人造雪几乎是支撑滑雪场运行的唯一途径。

天然降雪的气候分布除了影响滑雪场的建造选址和规模，也帮助滑雪场降低日常运营成本，及时了解降雪预报信息，能避免浪费人力、水电进行不必要的造雪活动。

2.2 人造雪与气温

人造雪过程中需要从水中抽取大量热量，才能完整从水到雪的相态转变。对于国内常用的以冷却雾化水为原理的造雪机来说，水在被雾化成小水滴之后，需要经过两个步骤才能凝结成冰晶，第一步是把水降温到0℃，一般1kg的水在相态不变的前提下每降温1℃时需要被转移掉4.2kJ的热量；第二步是把水凝结成冰，水与冰的相态转化需要转移大量的潜热，一般1kg的0℃的水需转移约336kJ的热量才能变成0℃的冰。

巨大的热量转移需求可以借助两种途径来实现，一是雾化水与自然低温空气接触后发生的热交换，二是与消耗电力换取的压缩空气接触，压缩空气的快速膨胀能带来短暂的低温环境，雾化水利用这个时间快速完成热交换，转变成雪。

自然低温环境一般是指0℃以下的温度环境，这是人造雪制造和维持的基本条件，然而具备自然低温的时间窗口正在变得越来越短。希爽等^[3]对我国近50年积雪特征的时空变化特征的分析表明，在东北、内蒙古东北部、华北和华中我国主要降雪地区，气温稳定通过0℃的日数均呈显著性减少趋势，其中华北地区减少趋势最明显，每十年约减少3.11d。这项研究结论进一步加深了人们对环境变暖的担忧。

当自然低温环境变得更少，对滑雪者来说意味着能进行户外滑雪运动的时间变得更短了，而对滑雪场运营者来说，不得不更多依赖电力驱动的制冷技术，这意味着用电成本的抬升。

造雪活动一般安排在夜间，除了经营方面的考虑，另一个重要原因是夜间更容易达到0℃以下的自然低温环境，造雪成本更低。滑雪场一般还会安排专人根据气温控制造雪机的出雪量，温度较低的时候，会加大造雪量，温度升高的时候会减少造雪量，以确保充分利用一天中的低温时间窗口进行高效的造雪活动。

2.3 人造雪与湿球温度

在造雪产业中，温度并不是造雪条件的唯一关键

指标。在湿度帮助下,即使气温在0℃也可能存在适合人造雪活动的环境条件。这里参考的最重要的气象指标就是湿球温度,湿球温度是气象行业标准观测要素,可方便获取。湿球温度受环境温度和相对湿度的共同影响,代表了当前环境下仅通过水分蒸发所能获得的最低温度。

湿球温度一般都会比干燥时的环境温度更低,且空气越干燥,雾化水液滴蒸发所带来的降温效果就越明显,相同温度对应的湿球温度也就越低。因此越冷越干燥的环境条件,越有利于人造雪的形成^[4]。

2.4 人造雪和风速

风对人造雪来说是一个不确定因素,常扮演着搅局者的角色。由于雪核和水滴的混合需要足够的腾空和固化时间,因此雪炮常被挂载的高塔上,塔基越高,人造雪生产率就越高。一般塔架高度在12m左右,因此12m以上的风速是一个需要被重点考虑的条件。目前气象行业关于风要素的标准观测,是指10m高度,基本可以满足需求。

自然环境中的风具有离地高度越高,风速越大的特点,一般在近地面风速随高度按对数函数的规律增大,大风环境可能导致降落到地面上的雪不够集中,无法在指定雪道区域形成有效的积雪厚度。同时大风还可能吹散雪道已经存在的积雪,造成积雪厚度降低,增加滑雪运动危险。

因此及时了解风力预报,也是控制造雪时间和成本的重要考虑因素。

3 基于气候条件的人造雪用水管理方案

人工造雪是高耗水工程,即使地理位置优越的滑雪场人造雪的用水量依然巨大。以长白山国际度假区滑雪场为例(位于41°N的黄金滑雪度假纬度带),滑雪场的雪道用雪量约100万m³,全年造雪需求总量约115万m³,全年造雪用水量可达60万m³。如此大的用水量如果采用市政给水,一是当地自来水公司的供水政策不允许,二是使用自来水水费也太高,因此,造雪用水水源的规划是否合理,对于雪场的运营可靠性和运行成本的控制都是至关重要的。

中国大部分北方城市都面临着水资源紧张与滑雪场发展相冲突的现实问题。常见的滑雪场提取水的方式一般为抽取地下水、收集地表径流和雨雪水。中国滑雪协会一项对北京地区滑雪场的调研显示,用于造雪的地下水回收率只有40%左右,而大量地下水的损

耗,更加重山区的春旱。因此收集地表径流和雨雪水成为更加被行业所认可的方式。

对于许多雨季时间集中的城市,修建蓄水池是利用天然水资源最常见的方式。依据造雪用水量的大小,设置一个大型蓄水池,通过在春夏秋冬四季储备足够水量,到了冬季作为滑雪场造雪水源,这样可以节约大量的市政水资源。

公开的资料显示,北京延庆地区2022年冬奥会雪上项目场馆所需用雪,将从附近的地表径流和附近水库取水用来造雪。为了实现这一目标,将在比赛雪场附近建立2个10万m³的高位蓄水池,从小海坨山区的3条自然沟壑收集地表径流,以支持人工制雪。

在已经建成的滑雪场中,不少滑雪场的水资源收集利用体系已建设得十分完善。长白山国际度假区的滑雪场蓄水池建设容积达到70万m³,蓄水来源以春季雪道融雪和雨季降水两部分为主,雪道融雪总量的1/3能汇集到蓄水池,约20万m³;长白山地区雨水充沛,年降水量600~900mm,山体冲沟的自然汇流和人工防洪渠的截流,均汇集到蓄水池内,能完全补充其余部分水量。为保证用水可靠性,充分考虑枯水年度补水措施,设计补水能力不少于6000m³/d,补水取自位于项目西南方5km的漫江。

充分了解当地的降水气候特点,利用降水的季节性特征,是在进行滑雪场设计和优化人造雪用水管理方案时所必须要认真考量的因素。

对许多寒地城市来说,除了建造蓄水设施,在天然降雪资源的利用上也存在很大的发展空间。雪资源本身比雨水滞留时间更长,且便于收集,对城市雪资源进行有效的收集和管理,不仅对寒地城市人造雪产业的发展有重大意义,对城市交通状况的改善也有积极影响。由于雪资源的管理与城市规划水平、融雪净雪技术的发展水平密切相关,因此国内雪资源的收集和再利用还处在起步阶段^[5]。

参考文献

- [1] 杨立祥. 造雪机的研究及分析. 机电产品开发与创新, 2010, 23(3): 43-45.
- [2] 刘玉莲, 任国玉. 中国降雪气候学特征. 地理科学, 2012, 32(10): 1176-1184.
- [3] 希爽, 张志富. 中国近50a积雪变化时空特征. 干旱气象, 2013, 31(3): 451-456.
- [4] Spandre P, Morin S. Integration of snow management processes into a detailed snowpack model. Cold Regions Science and Technology, 2016 (125): 48-64.
- [5] 徐文婷. 基于雪资源化利用的哈尔滨可持续景观设计研究. 沈阳: 东北工业大学, 2014.